Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Diseño de túnel



Ing. Adrián G.Minor

Alumno: Flores Villarreal Luis Eduardo

1 de diciembre de 2016

Contenido

I. Introducción

El macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades. Mecánicamente son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos, por lo que su clasificación es fundamental en la ingeniería geológica. Las masas rocosas aparecen en la mayoría de los casos afectadas por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa constituyéndolo en con junto los macizos rocosos.

La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

Las clasificaciones de los macizos rocosos están basadas en alguno o varios de los factores que determinan su comportamiento mecánico:

- Propiedades de la matriz rocosa.
- Frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen el grado de fracturación, el tamaño y la forma de bloques del macizo, sus propiedades hidrogeológicas, etc.
- Grado de meteorización o alteración
- Estado de tensiones in situ.
- Presencia de agua.

La clasificación de macizos rocosos en base a aspectos geotécnicos, surge por la necesidad de obtener parámetros geomecánicos que sean útiles en el diseño de proyectos de ingeniería. Algunas de las clasificaciones más usuales son:

- Clasificación de Terzaghi
- Clasificación geo mecánica Rock Mass Rating RMR
- Clasificación de Barton

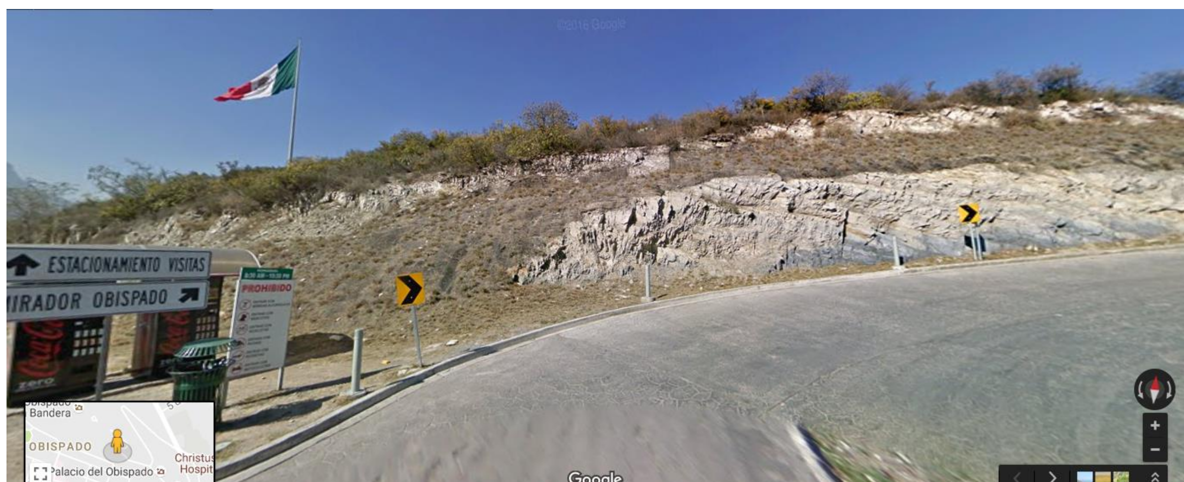
A lo largo de este proyecto, el macizo rocoso estudiado será clasificado de acuerdo a éstas.

II. Ubicación del macizo rocoso

El macizo rocoso estudiado para este proyecto se encuentra en el cerro del obispado, camino a la asta bandera, sobre la calle Rafael J. Vergel en la colonia Centro, con coordenadas de Latitud: 25°40’28.14” N, Longitud: 100°20’39.68” O.







III. Formación Geológica

Ubicado en el Cerro del Obispado se encuentra la formación geológica de San Felipe, del Cretácico superior tardío, ubicada por entre las formaciones Méndez y F. Agua Nueva.

Esta formación consta de una secuencia rítmica de lutitas arenosas con intercalaciones de paquetes delgados de arcillas arenosas de grano medio a grueso glauconiticas de color verde, margas y delgadas capas de areniscas margosas en forma de boudinage. Estos son estratos delgados con abundantes laminaciones con limolitas, lutitas y bentonita.



IV. Clasificación de macizo rocoso

II. 1 Clasificación de Terzaghi

- **Roca intacta:** no contiene juntas ni grietas en sus estratos. Por lo tanto, si se rompe, se romperá a causa del sonido. Al producirse una explosión de voladura, fragmentos podrán caer del techo varias horas o días después de la voladura. Esto se conoce como condición de desprendimiento. La roca dura, igualmente, al generarse un estallido puede ocurrir el desprendimiento espontaneo y violento de losas de roca de los lados o del techo de roca estratificada, que consiste en estratos individuales con poca o ninguna

resistencia a la separación de estratos. El límite entre los estratos puede o no debilitarse por las articulaciones transversales.

- **Roca estratificada:** consiste en estratos individuales con poca o nula resistencia contra la separación a lo largo de los límites entre los estratos Los estratos pueden o no ser debilitados por las articulaciones transversales. En tal roca la condición del Astillamiento es absolutamente común.
- **La roca con articulación moderada:** contiene juntas, pero los bloques entre las articulaciones se cultivan localmente juntos o tan íntimamente entrelazados que las paredes verticales no requieren apoyo lateral, en rocas de este tipo, se pueden encontrar tanto condiciones de desprendimiento como de descomposición.
- **La roca bloqueada y accidentada:** consiste en fragmentos de roca químicamente intactos o casi intactos que son enteramente separados de uno de otro e imperfectamente entrelazados. En la roca, las paredes verticales pueden requerir apoyo lateral.
- **La roca triturada pero químicamente intacta** tiene el carácter de ser trituradora. Si la mayor parte o la totalidad de los fragmentos son tan pequeños como granos de arena fina y no se ha producido recementacion, la roca triturada debajo de la capa freática muestra propiedades de una arena que contiene agua.
- **Roca comprimida:** avanza lentamente en el túnel sin aumento perceptible del volumen. Un requisito previo para la compresión es un alto porcentaje de partículas microscópicas y sub microscópicas de minerales de arcilla con una baja capacidad de hinchamiento.
- **La roca hinchada:** avanza en el túnel principalmente a causa de la expansión. La capacidad de hinchamiento parece limitarse a aquellas rocas que contienen minerales arcillosos como la montmorillonita, con una alta capacidad de hinchamiento.

Por las características encontradas en campo del macizo rocoso determinamos que se trata de una roca bloqueada y accidentada.

II. 2 Clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating)

Bieniawski describe un método cuantitativo para la descripción de la calidad de un macizo rocoso y la selección de su método de soporte adecuado en base de su clasificación RMR, la cual considera los siguientes parámetros

1. Parámetro 1: Resistencia de la roca sana.
2. Parámetro 2: Grado de fracturación (RQD).
3. Parámetro 3: Espacio de las discontinuidades.
4. Parámetro 4: Condiciones de las discontinuidades.
5. Parámetro 5: Presencia de agua.
6. Parámetro 6: Orientación de las discontinuidades.

Para obtener el Índice RMR de Bieniawski

1. *Resistencia de la roca sana.*

Tipo de roca	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Creta	1	2	1.5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limonita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda Muy blanda	5 -25 1 - 5 < 1	< 1	2 1 0

Haciendo uso de la carta geológica – minera del lugar se determina que el tipo de roca que se presenta en el lugar es marga. Considerando una resistencia mínima de tal roca de 121MPa apoyándose en la tabla anterior obtenemos una roca muy dura, teniendo una *valoración de 7.*

2. *Grado de fracturación RQD*

La calidad de roca R.Q.D se puede determinar:

a) Trozos de rocas testigos mayores de 10cm recuperados en sondeos.

$$RQD = \frac{\sum ripios > 10\ cm}{Total\ de\ la\ perforación}$$

b) Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1m3) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro Jv.

$$RQD = 115 - 3{,}3 \cdot J_V$$

c) Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades (λ) por Hudson, 1989.

$$RQD = 100\, e^{(0.1\lambda)}\, (0.1\lambda + 1)$$

Para este caso estimamos, tomando en cuenta lo visto en campo, y con fines académicos, se estima un RQD = 40. Con este valor se determina la calidad de la roca y se obtiene la valoración.

Índice de Calidad R.Q.D. (%)	Calidad	Valoración
0 -25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Valoración = 8

3. *Espacio de las discontinuidades*

Descripción	Espaciado de las Juntas	Tipo de macizo rocoso.	Valoración
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 - 2 m.	Masivo	15
Moderadamente juntas	200- 600 mm.	En bloques	10
Juntas	60 - 200 mm.	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm.	Machacado	5

En el macizo rocoso presente en el obispado se realizaron medidas entre falla y falla, estas se encontraron espaciadas en un rango de 0.6 a 2 metros, por lo que definimos el macizo rocoso como macizo, teniendo una *valoración de 15.*

4. *Condiciones de las discontinuidades.*

A continuación, se presentan las condiciones de discontinuidad, obteniendo la valoración tomando en cuenta lo observado en campo

- Abertura de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Valoración
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6

Descripción: Muy cerrada, valoración = 5

- Continuidad o persistencia de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy baja	< 1 m	6
2	baja	1 - 3 m	4
3	Media	3 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0

Descripción: Baja, valoración = 4

- Rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

Descripción: Ligeramente rugosa, valoración = 3

- Relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5mm	2
3	Duro > 5mm.	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

Descripción: Ninguno, valoración = 6

- Alteración de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Descripción: Ligeramente alterada, valoración = 5

Resumen de resultados de cuarto parámetro

Descripción	Valoración
Abertura	5
Continuidad	4
Rugosidad	3
Relleno	6
Alteración	5
Resultado=	23

Valoración = 21

5. *Presencia de agua*

No se encontró presencia de agua en el lugar, por lo que describimos el macizo rocoso como seco.

Caudal por 10 m de túnel	Relación Presión agua – Tensión ppal mayor	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	< 0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0,2 – 0,5	Goteando	4
>125 litros/min	> 0,5	Fluyendo	0

Valoración = 15

6. *Orientación de las discontinuidades*

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				**Dirección Paralelo al Eje de la obra.**		**Buzamiento 0 -20° Cualquier dirección.**
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento				
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	
Muy favorable	**Favorable**	**Medio**	**Desfavorable**	**Muy desfavorable**	**Medio**	**Desfavorable**

Calificativo	**Valoración**
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Se considera una dirección perpendicular al eje de la obra, con excavación contra buzamiento de entre 45° y 90°. Recibe un calificativo, de acuerdo con la anterior tabla de “medio” con valoración de -5.

Resultados de la clasificación RMR

Parámetro	Valor
Resistencia	7
Fracturación	8
Espacio de discontinuidades	15
Condiciones de discontinuidades	5
Presencia de agua	15
Orientación de discontinuidades	-5
Sumatoria (RMR)	61

Obtenido el valor RMR determinamos la calidad de la roca:

CLASE	**CALIDAD**	**VALORACIÓN RMR**	**COHESIÓN**	**ÁNGULO DE ROZAMIENTO**
I	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm^2	> 45°
II	Buena	80-61	3 – 4 Kg/cm^2	35° - 45°
III	Media	60-41	2 – 3 Kg/cm^2	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 – 2 Kg/cm^2	15°- 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm^2	<15°

Se seguirán las recomendaciones para la Clase II, calidad buena para la excavación y dar soporte.

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm de diámetro, inyectados.	Soporte con concreto armado	costillas
I . Roca muy Buena, RMR: 81- 100	A sección completa. 3 mts. de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II . Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 mts de avance. Soporte completo a 20 mts del frente.	Pernos en la corona de 3 mts. de longitud espaciados a 2.5 mts. malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III . Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 mts de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos, 4 mts de longitud, espaciados 1.5-2 mts en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV . Roca Pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 – 1.5 mts de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos , 4- 5 mts de longitud, espaciados 1 – 1.5 mts en la corona y hastiales con malla.	100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 mts a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR:< 20	Múltiples galerias 0.5-1.5 mts.de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5-6 mts de longitud, espaciados 1 – 1.5 mts en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 mts con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

Valoración RMR		100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	Menor a 20
Clasificación Nº		I	II	III	IV	V
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala
Tiempo medio de sostén		10 años para claro de 5m.	6 meses para claro de 4m.	1 semana para claro de 3m.	5 horas para claro de 15 m.	10 minutos para claro de 0.5 m
Parámetros geomecánicos	Cohesión	30 ton/m²	20 a 30 ton/m²	15 a 20 ton/m²	10 a 15 ton/m²	Menor a 10 ton/m²
Recomendados	Ang. Fricción	Mayor a 45º	40º a 45º	35º a 40º	30º a 35º	Menor a 30º

II. 3 Clasificación de Barton

Conocido como “Sistema Q” constituye un sistema de clasificación de macizos, útil para el establecimiento de sistemas de sostenimiento. Este sistema está basado en la evaluación numérica de seis parámetros que definen su índice.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

1. RQD = Índice de calidad de la roca.
2. Jn = Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación.
3. Jr = Índice que contempla la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades.
4. Ja = Índice de alteración de las discontinuidades.
5. Jw = Coeficiente reductor por la presencia de Agua.
6. SRF = (Stress reduction factor) Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso.

De la anterior ecuación, el primer elemento del producto representará al tamaño de los bloques, el segundo a la resistencia al corte entre los bloques y el tercero y último coeficiente representará el estado tensional del macizo rocoso.

1. *Parámetro 1: RQD*

Descripción de la calidad del macizo rocoso	***R Q D***	***Observaciones.***
Muy pobre	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Pobre	25-50	
Medio	50-75	
Bueno	75-90	
Muy Bueno	90-100	

Será propuesto un mismo valor de RQD de 40, siguiendo el mismo criterio utilizado anteriormente en la clasificación de Bieniawski. Este valor será utilizado para el cálculo del valor de Q.

RQD = 40

2. *Parámetro 2: Índice de diaclasado Jn*

Descripción	**Jn**
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

De acuerdo al sistema de fallas visto se observan tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales.

Jn = 12

3. *Parámetro 3: Índice de rugosidad Jr*

❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	**Jr**
▪ Juntas discontinuas. ▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada. ▪ Suave ondulada. ▪ Espejo de falla, ondulada, ▪ Rugosa o irregular, plana. ▪ Suave plana. ▪ Espejo de Falla, plano.	4 3 2 1.5 1.5 1 0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	**Jr**
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas. ▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1 1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad. Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5	

La condición vista en el lugar se describe como espejo de falla plano

Jr = 1.5

4. *Parámetro 4: Índice de alteración Ja*

Para la medición de este parámetro existe una clasificación primaria, la cual se divide en:

- Contacto entre las 2 caras de las diaclasas.
- Contacto entre 2 caras de la diaclasa con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.
- No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.

Siguiendo con la característica “Contacto entre las 2 caras de las diaclasas” tenemos:

Descripción	***Ja***	***Ø°***
Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas.		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16

Ja = 2

5. *Parámetro 5: Coeficiente reductor por la presencia de agua Jw.*

	Jw	Presión del agua Kg/cm²
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continúas, sin disminución.	0.05-.01*	>10
Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw		

Jw = 1

6. *Parámetro 6: Condiciones tensionales SRF*

Para la medición de este parámetro existe una clasificación primaria, la cual se divide en:

- Zona débil que interceptan la excavación y pueden casar caídas de bloques.
- Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas.
- Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.

Durante la visita en campo, se pudieron romper varios fragmentos de roca, solamente utilizando las manos, por lo que se clasifica como “Zona débil que interceptan la excavación y pueden casar caídas de bloques”.

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.	S.R.F
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.	10
B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).	5
C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).	2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).	7.5
E. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)	5
F. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).	2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.	5

S.R.F = 10

Resumen de resultados y cálculo de Q

Parámetro	Valor
RQD	40
Jn	12
Jr	1.5
Ja	2
Jw	1
S.R.F	10

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

$$Q = \frac{40}{12} \times \frac{1.5}{2} \times \frac{1}{10} = 0.25$$

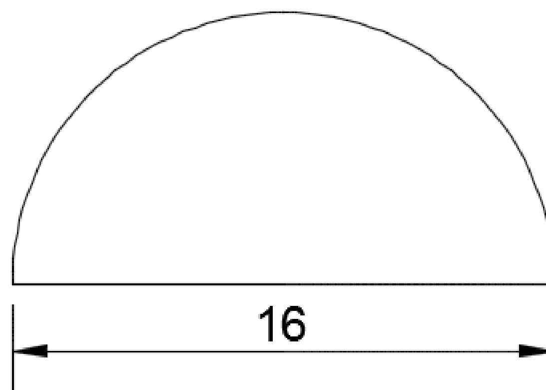
Clasificación del macizo rocoso

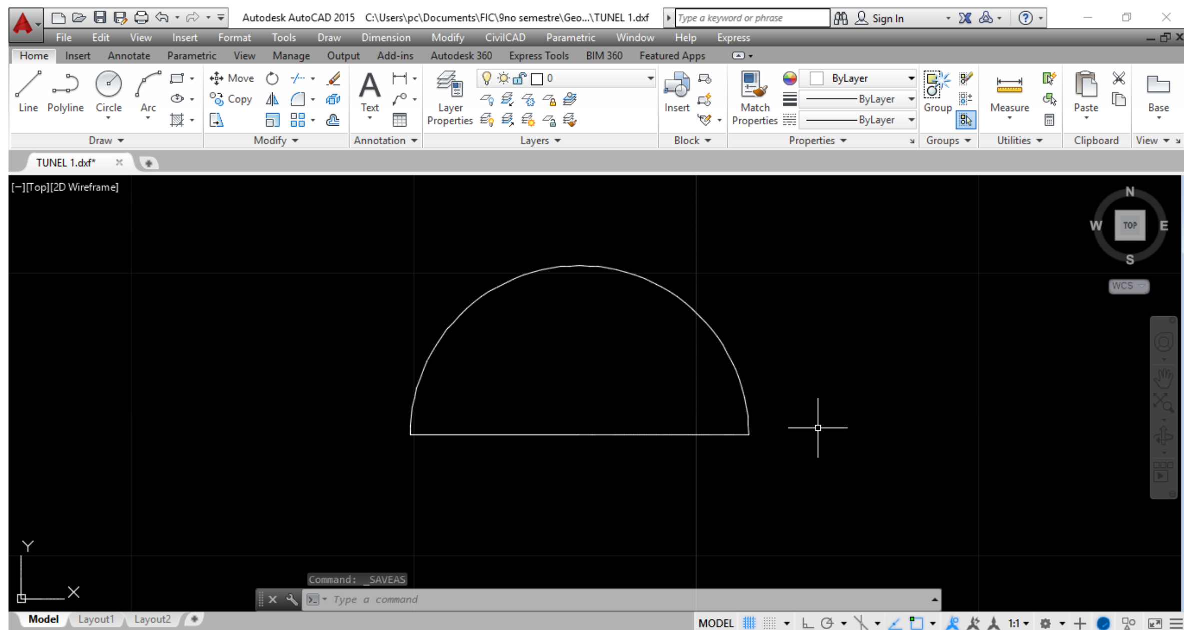
TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	0,001 – 0,01
Extremadamente mala.	0,01 – 0,1
Muy mala.	0,1 – 1
Mala.	1 – 4
Media.	4 – 10
Buena.	10 – 40
Muy buena.	40 – 100
Extremadamente Buena.	100 – 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

Clasificación: Extremadamente mala.

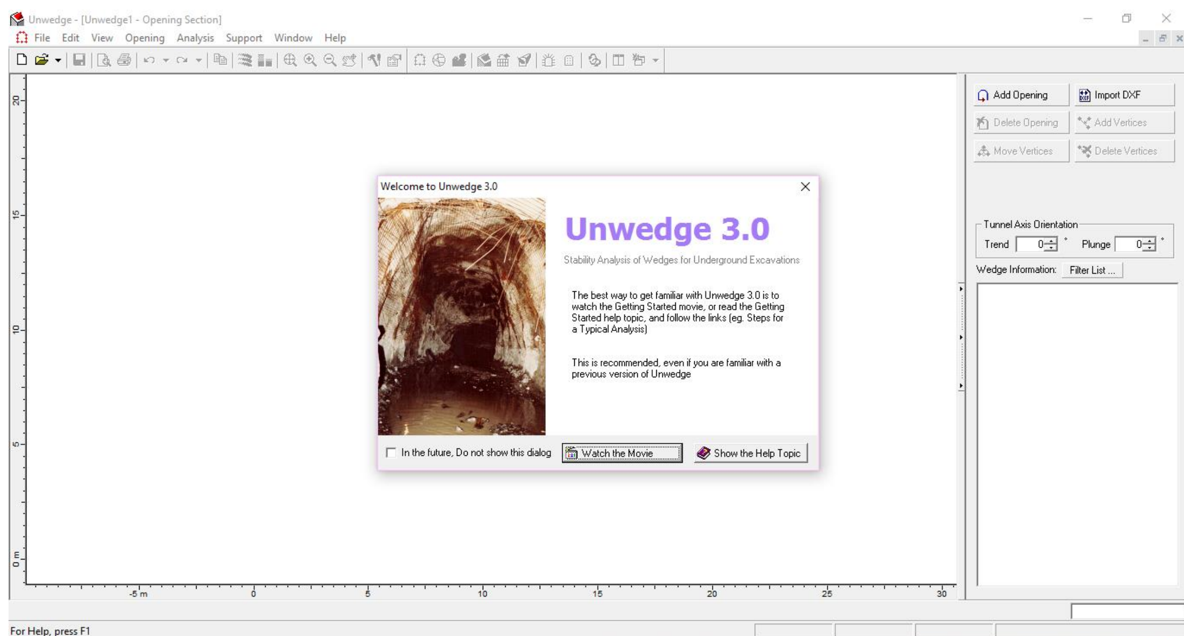
V. Diseño del Túnel

1. TRAZO: primeramente, es necesario dar dimensiones a nuestro túnel, con apoyo de AutoCAD. Éste túnel en especial tendrá una longitud de 16 metros de diámetro, considerando el flujo de automóviles para 4 carriles, dos para cada sentido, y una pequeña porción de banqueta destinada para el paso peatonal.

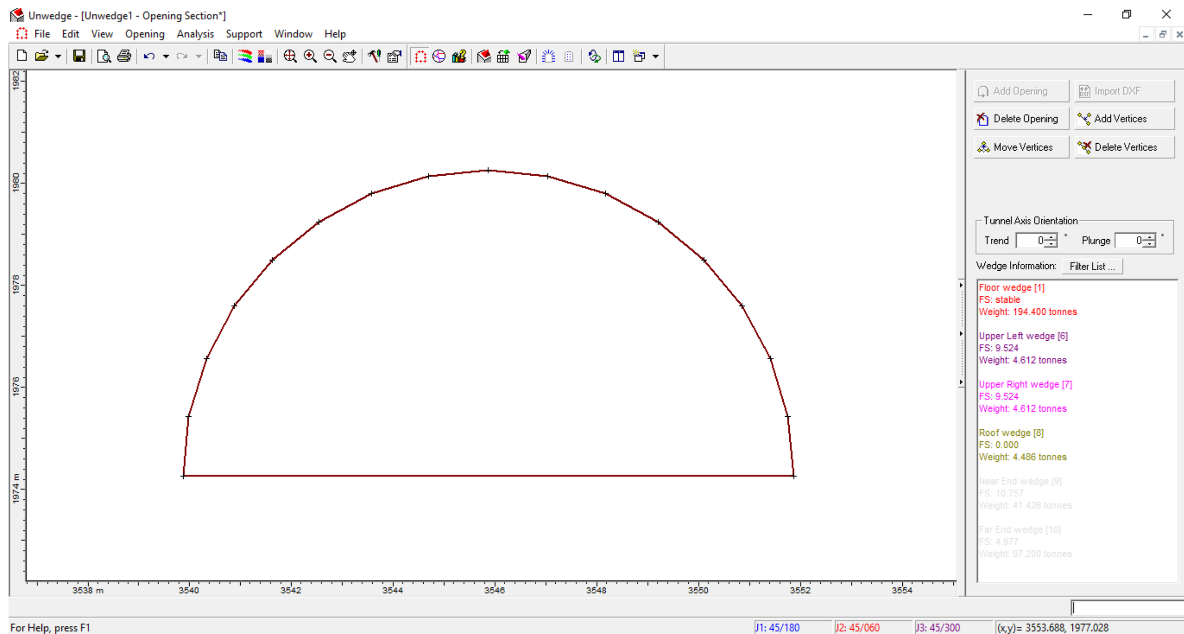




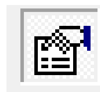
2. UDWEDGE 3.0. Para la modelación del túnel, y de cómo se presentarán las fallas en el mismo se utilizó este software.



3. Se exporta el dibujo trazado en AutoCAD a Unwadge como formato DXF, para finalmente tener el túnel modelado en el programa.



4. Accediendo por el ícono mostrado (Imput Data) se registrarán algunas de las propiedades. En la primer pestaña “General” se capturarán datos como el peso volumétrico de la roca y del agua. Aquí también será posible direccionar el rumbo del túnel.



Input Data

General | Joint Orientations | Joint Properties

Tunnel Axis Orientation

Trend: 0 ° Plunge: 0 °

Design Factor of Safety

Design Factor of Safety: 1.5

NOTE: used for optimization and filtering of wedges only
(has no effect on the results of the analysis)

Unit Weight

Rock: 2.7 t/m3

Water: 1 t/m3

Seismic Force

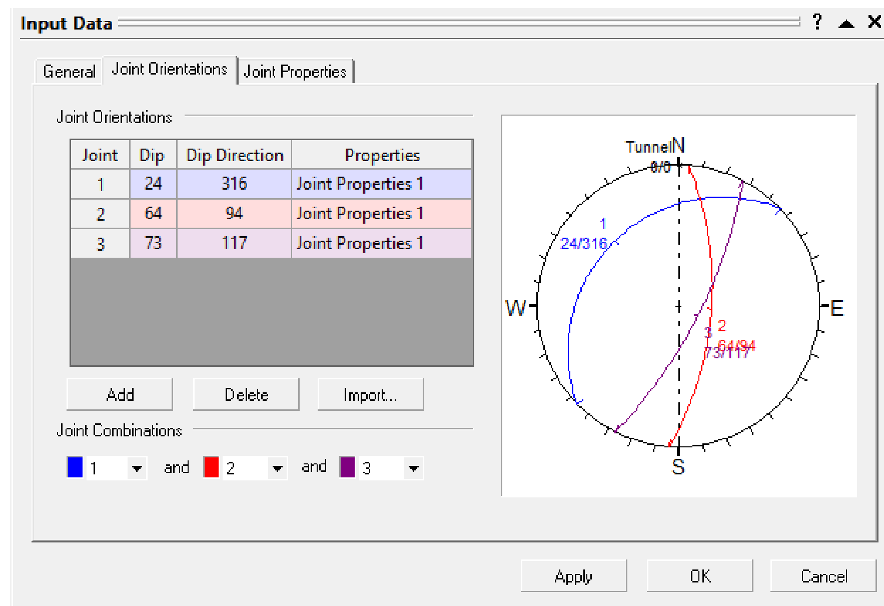
Direction:

Sliding

Seismic coefficient: 0

Apply OK Cancel

En su segunda pestaña “Joint Orientations” se capturan los rumbos (azimuts) y los buzamientos levantados en campo. 1 se referirá a los datos del estrato, mientras que el 2 y el 3 se referirá a dos fallas. A continuación, se muestran estos rumbos y azimuts levantados en campo.



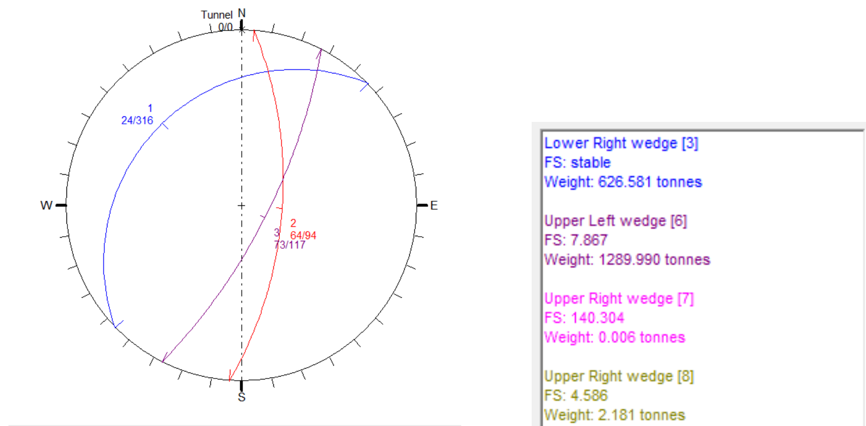
Joint	Dip	Dip Direction	Properties
1	24	316	Joint Properties 1
2	64	94	Joint Properties 1
3	73	117	Joint Properties 1

En su última pestaña “Joint Propierties” se capturan propiedades de la roca tales como cohesión y ángulo de fricción. Estos valores fueron propuestos en base a la clasificación ya realizada de Bieniawski, los cuales sugieren valores de entre 20 y 30 T/m2 de cohesión y de 40° a 45° como ángulo de fricción para clasificación II.

Input Data
General | Joint Orientations | Joint Properties
Joint Properties 1
Shear Strength
Model: Mohr-Coulomb $\tau = c' + \sigma_n' \tan \phi'$
Phi: 40 °
Tensile Strength: 0 t/m2
Cohesion: 20 t/m2
Water Pressure
Constant: 0 t/m2
Elevation: 0 m
NOTE: Elevation option should only be used for horizontal tunnels (ie. with plunge = zero)
Joint Structure
Waviness: 0 °
= [average angle] - [minimum angle]
Add ... | Delete | Rename
Apply | OK | Cancel

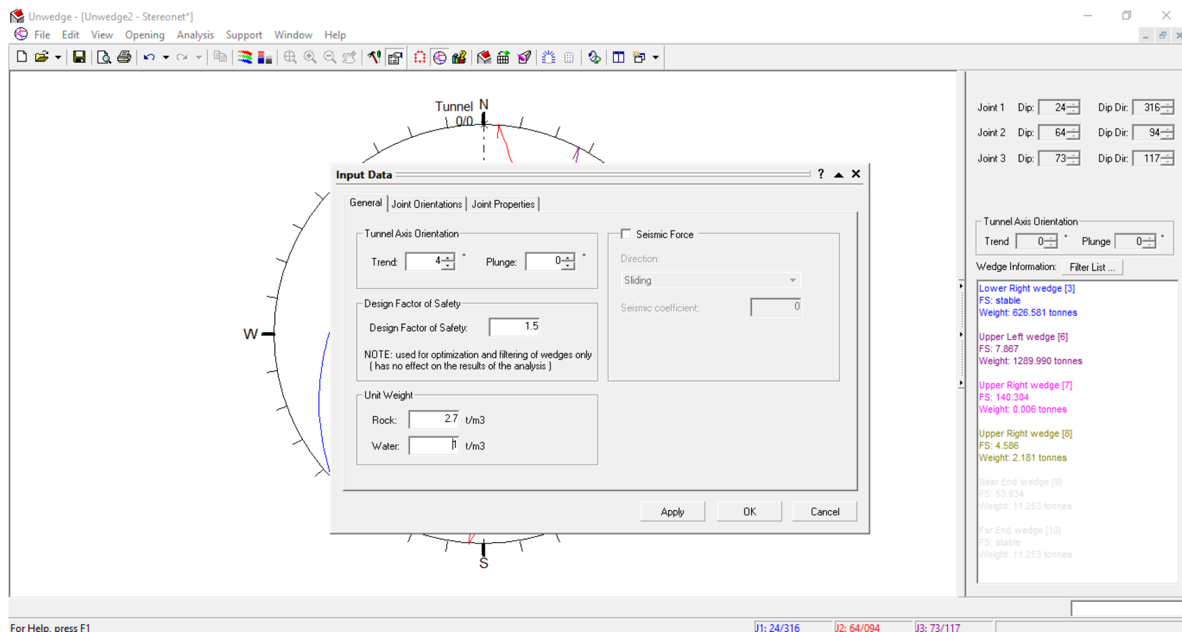
5. Se obtiene la estereografía accediendo por el ícono mostrado



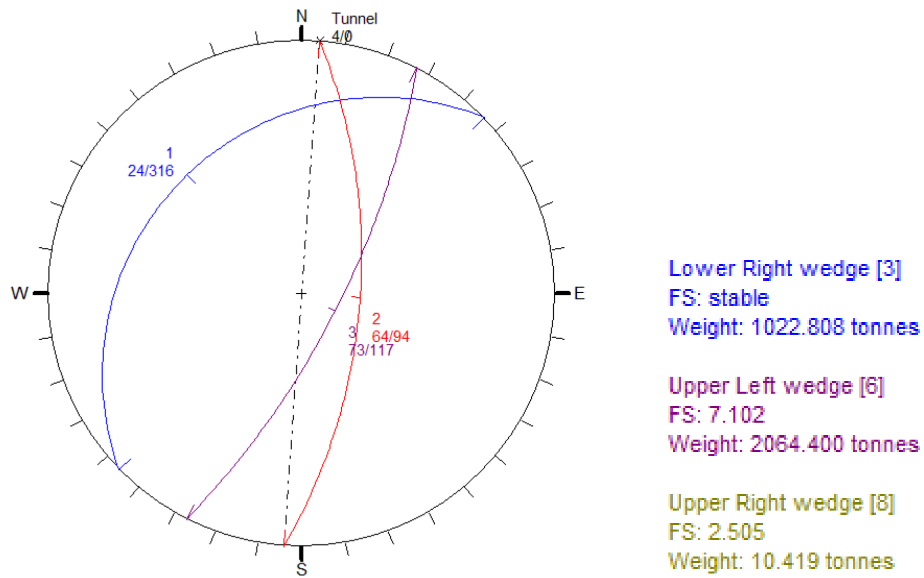


Como puede observarse en la tabla de la derecha, cada una de las cuñas que se forman muestran un factor de segura mayor a 3, por lo que no necesita ningún tipo de sostenimiento. Sin embargo, para fines académicos, se jugará con la orientación del túnel, de tal manera que se forme al menos una cuña no estable y su comportamiento con los distintos tipos de soporte. Este cambio de orientación lo haremos en la sección Imput Data.

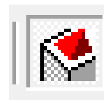
El rumbo que ayudó a generar una cuña inestable sería un 4° NE (4° azimut).

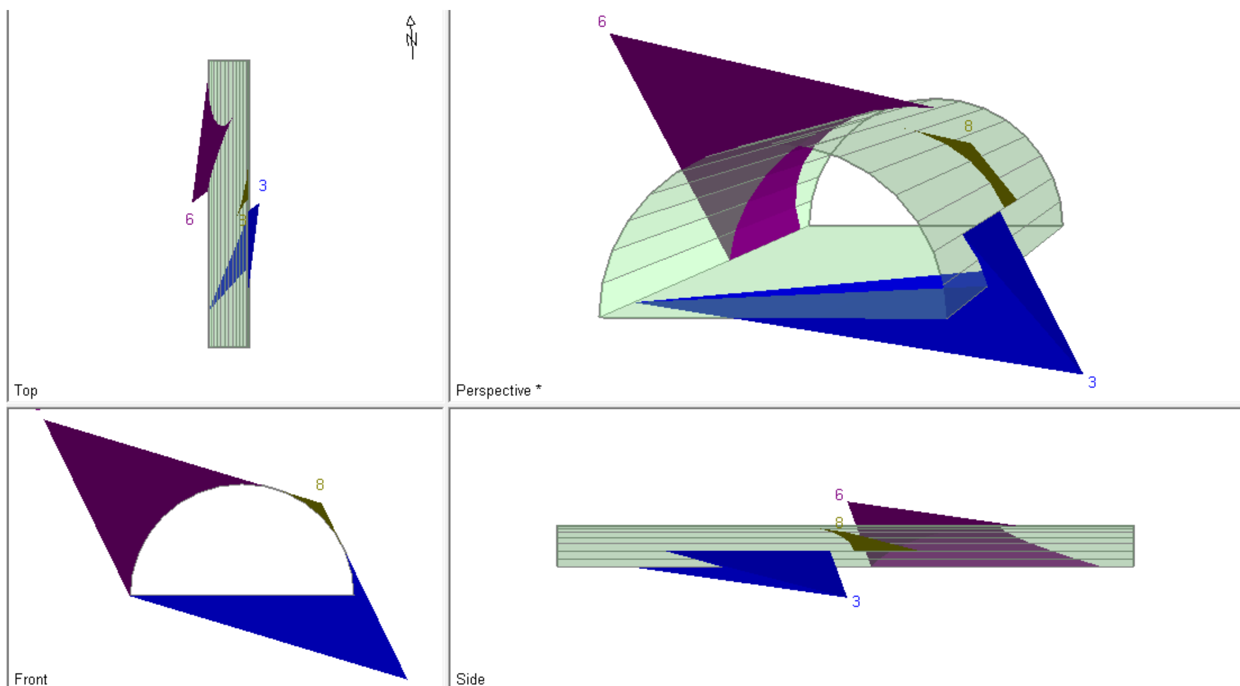


6. Estereografía con nuevo rumbo de túnel

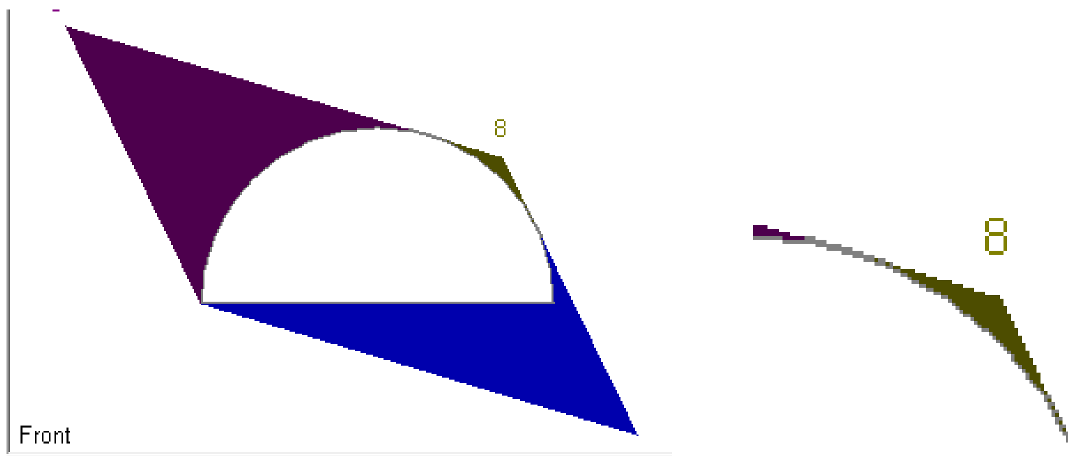


7. Modelación de las cuñas e ícono de acceso.

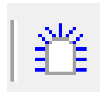


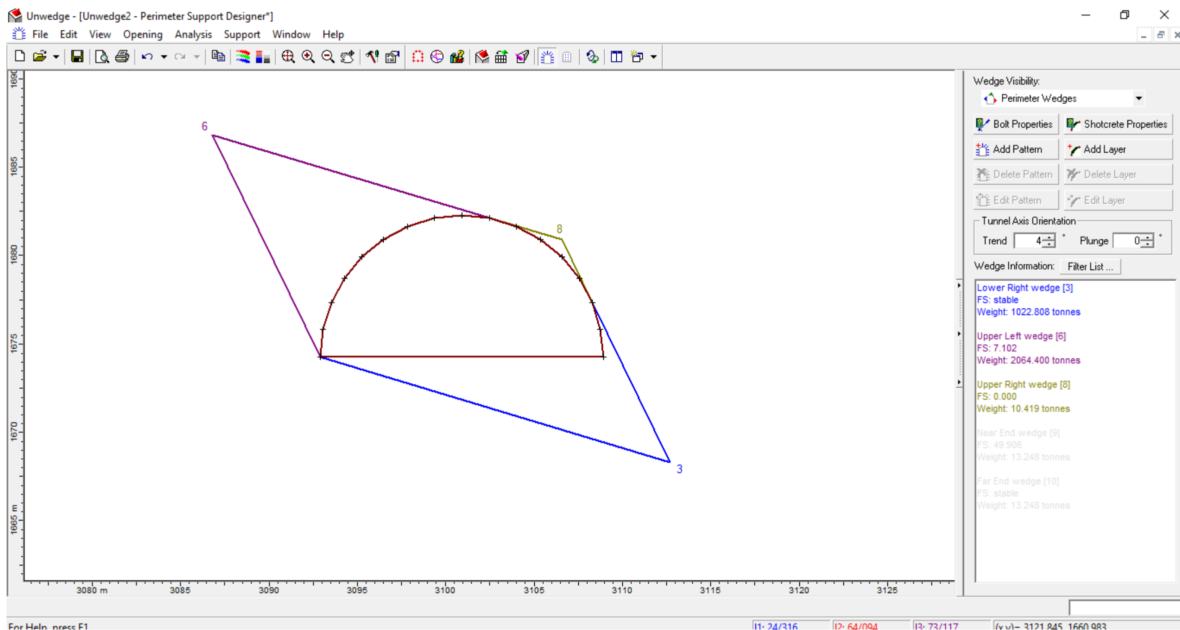


Cuña inestable:



8. Panel de diseño de soporte perimetral e ícono de acceso





9. SISTEMA DE ANCAJE: Se diseñará un sistema de anclaje que ayude a la estabilización de la cuña 8. Para esto se pensó en el uso de anclas de 2 metros de longitud, separadas a cada 1.5 metros y con las siguientes propiedades de capacidad.

Wedge Visibility:

Perimeter Wedges

Bolt Properties | Shotcrete Properties

Add Pattern | Add Layer

Delete Pattern | Delete Layer

Edit Pattern | Edit Layer

Tunnel Axis Orientation

Trend 4 ° Plunge 0 °

Add Bolt Pattern On Perimeter

Bolt Properties

Bolt Property 1

Bolt Length

Length: 2

Orientation

Normal To Opening Section

Pattern Spacing

In plane: 1.5

Out of plane: 2.5

Out of plane offset: 0

Maximum apex height of perimeter wedges is 10.93 m

OK Cancel

Bolt Properties

Bolt Property 1

Name: Bolt Property 1 Color:

Type: Mechanically Anchored

Tensile Capacity: 10 tonnes

Plate Capacity: 10 tonnes

Anchor Capacity: 10 tonnes

Use Shear Strength

Shear Strength: 1 tonnes

Use Bolt Orientation Efficiency

Method:

Cosine Tension/Shear

Add... Delete OK Cancel

El sistema de anclaje generado estabiliza satisfactoriamente la cuña inestable, llegando a cambiar el FS de 0.0 a 3.251, como se muestra en el modelo

Lower Right wedge [3]
FS: stable
Weight: 1022.808 tonnes

Upper Left wedge [6]
FS: 7.102
Weight: 2064.400 tonnes

Upper Right wedge [8]
FS: 3.251
Weight: 10.419 tonnes

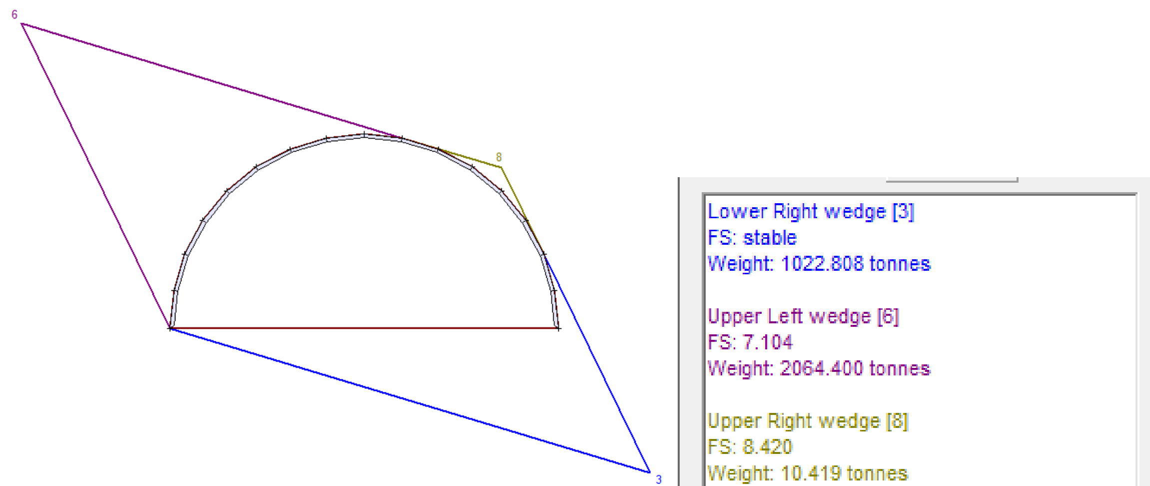
Near End wedge [9]

10. CONCRETO LANZADO: Se diseña otro sistema de sostenimiento, por concreto lanzado, el cual se hará en el mismo panel de diseño de soporte perimetral. Se considera utilizar concreto lanzado con un f'c de 150 kg/cm2, peso volumétrico de 2.4T/m3, teniendo un espesor de 2cm.

Shotcrete Properties

Number	Name	Color	Shear Strength (t/m2)	Unit Weight (t/m3)	Thickness (cm)
1	Shotcrete Property 1		150	2.4	2

El sistema de concreto lanzado generado estabiliza satisfactoriamente la cuña inestable, llegando a cambiar el FS de 0.0 a 8.420, como se muestra en el modelo.



11. SISTEMA COMBINADO: Se utiliza sistema de anclaje y concreto lanzado simultáneamente. Las ancas tendrán las mismas propiedades de capacidad, su única diferencia será su longitud, ahora de 2 metros. Las propiedades del concreto lanzado se mantienen.

Add Bolt Pattern On Perimeter

Bolt Properties: Bolt Property 1

Bolt Length — Length: 1

Orientation: Normal To Opening Section

Pattern Spacing — In plane: 1.5; Out of plane: 2.5; Out of plane offset: 0

Maximum apex height of perimeter wedges is 10.93 m

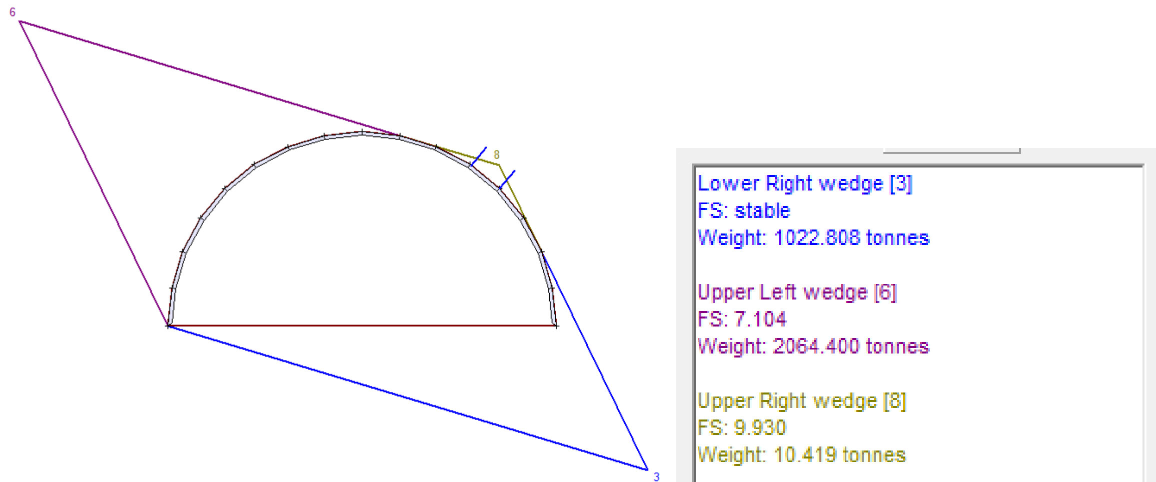
OK Cancel

Shotcrete Properties

Number	Name	Color	Shear Strength (t/m2)	Unit Weight (t/m3)	Thickness (cm)
1	Shotcrete Property 1		150	2.4	2

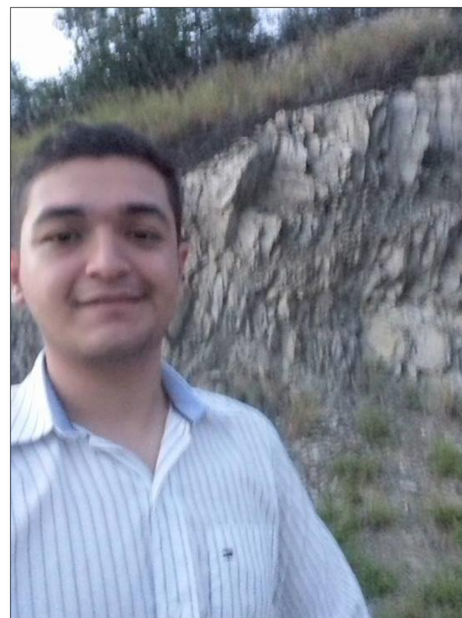
Add Delete OK Cancel

El sistema combinado estabiliza de manera sobrada la cuña inestable, pasando de tener un valor de FS = 9.93, como se muestra en el modelo.



VI. Informe fotográfico











VII. Conclusión

A lo largo de este proyecto ser realzó la caracterización de la roca por tres métodos distintos, así como el diseño del sistema de sostenimiento de un túnel basándose en el software Unwedge. Se presentan a continuación alguno de los resultados y conclusiones.

En la clasificación por Terzaghi, el macizo rocoso parece cumplir con una roca fragmentada en bloques y accidentada, la cual consiste en fragmentos de roca químicamente intactos o casi intactos, separándose imperfectamente entrelazados. Esta clasificación resulta ser muy superficial, quedándose muy corta para ver el comportamiento de cuñas en la perforación del túnel.

Por su parte, los resultados de la clasificación de Bieniawski apuntan tener una roca de buena calidad “tipo II” la cual es propensa a tener las siguientes características:

- Cohesión: 20 – 30 T/m2
- Ángulo de fricción: 40 – 45 grados

Estos parámetros fueron de gran utilidad y fuero considerados para el diseño del sistema de soporte del túnel

Finalmente, Barton defirió de la anterior clasificación al clasificar a la roca como “mala” en su escala.

En cuanto a los sistemas de soporte diseñados, éstos fueron 3: uno a base de anclajes, otro por concreto lanzado y por último uno mixto. Los tres sistemas resultaron satisfactorios. Sin embargo, es conveniente decidirse por aquel sistema de sostenimiento que genere menos costo.

Empezando por aquellos que resultaron “sobrados”, el sistema de concreto lanzado y el mixto resultan tener valores de FS muy elevados, aún si se hace uso de concreto te bajo desempeño, y en una capa de 5 cm (cabe mencionar que este espesor es considerado solamente para soporte, y que el cimbrado y colocado de concreto para acabado final será uno totalmente diferente). Además, hay que considerar que, al aplicar concreto lanzado este será aplicado cubriendo la totalidad del perímetro de la sección transversal del muro de un tramo a otro, puesto que no se puede realizar el sostenimiento solamente en la cuña inestable.

El sistema de anclajes, para esta opción, resulta ser la mejor, puesto cumple con términos de seguridad, y generará menos costos, al ser aplicado solamente en la cuña inestable, dando como resultado solamente 3 anclajes.